



PTO/SB/21 (08-03)
Approved for use through 07/31/2006. OMB 0651-0031
U.S. Patent and Trademark Office; U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE
Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it displays a valid OMB control number.

TRANSMITTAL FORM (to be used for all correspondence after initial filing)	Application Number	10/708,618	
	Filing Date	March 16, 2004	
	First Named Inventor	Susumu Noda	
	Art Unit	(to be assigned)	
	Examiner Name	(to be assigned)	
Total Number of Pages in This Submission	30	Attorney Docket Number	39.040

ENCLOSURES (Check all that apply)		
<input type="checkbox"/> Fee Transmittal Form	<input type="checkbox"/> Drawing(s)	<input type="checkbox"/> After Allowance communication to Group
<input type="checkbox"/> Fee Attached	<input type="checkbox"/> Licensing-related Papers	<input type="checkbox"/> Appeal Communication to Board of Appeals and Interferences
<input type="checkbox"/> Amendment/Reply	<input type="checkbox"/> Petition	<input type="checkbox"/> Appeal Communication to Group (Appeal Notice, Brief, Reply Brief)
<input type="checkbox"/> After Final	<input type="checkbox"/> Petition to Convert to a Provisional Application	<input type="checkbox"/> Proprietary Information
<input type="checkbox"/> Affidavits/declaration(s)	<input type="checkbox"/> Power of Attorney, Revocation	<input type="checkbox"/> Status Letter
<input type="checkbox"/> Extension of Time Request	<input type="checkbox"/> Change of Correspondence Address	<input type="checkbox"/> Other Enclosure(s) (please identify below):
<input type="checkbox"/> Express Abandonment Request	<input type="checkbox"/> Terminal Disclaimer	
<input type="checkbox"/> Information Disclosure Statement	<input type="checkbox"/> Request for Refund	
<input checked="" type="checkbox"/> Certified Copy of Priority Document(s)	<input type="checkbox"/> CD, Number of CD(s) _____	
<input type="checkbox"/> Response to Missing Parts/Incomplete Application	Remarks	
<input type="checkbox"/> Response to Missing Parts under 37 CFR 1.52 or 1.53		

SIGNATURE OF APPLICANT, ATTORNEY, OR AGENT	
Firm or Individual name	Judge Patent Firm
Signature	
Date	March 16, 2004

CERTIFICATE OF TRANSMISSION/MAILING			
I hereby certify that this correspondence is being facsimile transmitted to the USPTO or deposited with the United States Postal Service with sufficient postage as first class mail in an envelope addressed to: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 on the date shown below.			
Typed or printed name			
Signature		Date	

This collection of information is required by 37 CFR 1.5. The information is required to obtain or retain a benefit by the public which is to file (and by the USPTO to process) an application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.14. This collection is estimated to 12 minutes to complete, including gathering, preparing, and submitting the completed application form to the USPTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden, should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450. DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. **SEND TO: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.**

If you need assistance in completing the form, call 1-800-PTO-9199 and select option 2.



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

App. No. : 10/708,618
Applicant : Susumu Noda, et al.
Filed : March 16, 2004
Tech. Cntr./Art Unit : (To be assigned)
Examiner : (To be assigned)

Docket No. : 39.040
Customer No. : 29453

Honorable Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

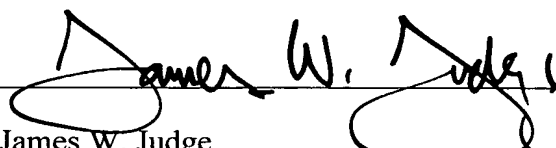
Submission of Documents in Claiming Priority Right
Under 35 U.S.C. § 1.119(b)

Sir:

To complete the claim made for the benefit of an earlier foreign filing date on filing the application identified above, Applicant herewith submits a certified copy of **Japanese Patent Application No. JP2003-071947, filed March 17, 2003.**

Respectfully submitted,

March 16, 2004


James W. Judge
Registration No. 42,701

JUDGE PATENT FIRM
Rivière Shukugawa 3rd Fl.
3-1 Wakamatsu-cho
Nishinomiya-shi, Hyogo 662-0035
JAPAN
Telephone: **800-784-6272**
Facsimile: 425-944-5136
e-mail: ***jj@judgepat.jp***

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 3 月 1 7 日
Date of Application:

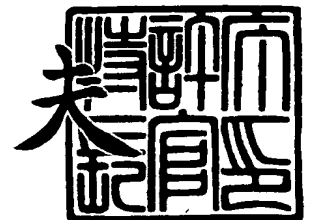
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 0 7 1 9 4 7
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 0 7 1 9 4 7]

出 願 人 京都大学長
Applicant(s): 住友電気工業株式会社

2 0 0 3 年 1 1 月 2 8 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 1030137

【提出日】 平成15年 3月17日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 3/08

G02B 6/12

【発明者】

【住所又は居所】 京都府京都市左京区吉田本町 3 6 の 1 番地 京都大学内

【氏名】 野田 進

【発明者】

【住所又は居所】 京都府京都市左京区吉田本町 3 6 の 1 番地 京都大学内

【氏名】 浅野 卓

【発明者】

【住所又は居所】 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目 1 番 1 号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内

【氏名】 赤羽 良啓

【特許出願人】

【持分】 066/100

【識別番号】 391012442

【住所又は居所】 京都府京都市左京区吉田本町 3 6 の 1 番地

【氏名又は名称】 京都大学長 長尾 ▲真▼

【特許出願人】

【持分】 034/100

【識別番号】 000002130

【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号

【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代表者】 岡山 紀男

【代理人】

【識別番号】 100064746

【弁理士】

【氏名又は名称】 深見 久郎

【選任した代理人】

【識別番号】 100085132

【弁理士】

【氏名又は名称】 森田 俊雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100083703

【弁理士】

【氏名又は名称】 仲村 義平

【選任した代理人】

【識別番号】 100096781

【弁理士】

【氏名又は名称】 堀井 豊

【選任した代理人】

【識別番号】 100098316

【弁理士】

【氏名又は名称】 野田 久登

【選任した代理人】

【識別番号】 100109162

【弁理士】

【氏名又は名称】 酒井 將行

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008693

【納付金額】 7,140円

【その他】 国等以外のすべての者の持分の割合 0 3 4 / 1 0 0

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 2次元フォトリック結晶中の共振器と波長分合波器

【特許請求の範囲】

【請求項1】 2次元フォトリック結晶中の点状欠陥からなる共振器であつて、

前記2次元フォトリック結晶の通常部分は板材内に設定された2次元格子点において前記板材に比べて小さな屈折率を有しかつ所定の同一寸法形状の低屈折率物質を配設することによって構成されており、

前記点状欠陥は3以上の互いに隣接する複数の格子点を含んでいて、それらの格子点には前記低屈折率物質が配設されておらず、

前記点状欠陥に最近接の格子点の少なくとも一つに対応して配設されるべき前記低屈折率物質の寸法が前記所定寸法から変えられていることを特徴とする共振器。

【請求項2】 前記点状欠陥に第2次近接の格子点の少なくとも一つに対応して配設されるべき前記低屈折率物質の寸法も前記所定寸法から変えられていることを特徴とする請求項1に記載の共振器。

【請求項3】 前記点状欠陥は6以下の前記格子点を含んでいることを特徴とする請求項1または2に記載の共振器。

【請求項4】 前記共振器において共振する光の波長は前記点状欠陥の寸法形状に依存して調整され得ることを特徴とする請求項1から3のいずれかに記載の共振器。

【請求項5】 前記点状欠陥は線分状に並んだ前記複数の格子点を含んでいることを特徴とする請求項1から4のいずれかに記載の共振器。

【請求項6】 前記低屈折率物質は前記板材を貫通する円柱内に充填されていることを特徴とする請求項1から5のいずれかに記載の共振器。

【請求項7】 前記2次元格子点は六方格子配列されていることを特徴とする請求項1から6のいずれかに記載の共振器。

【請求項8】 前記板材は2.0以上の屈折率を有することを特徴とする請求項1から7のいずれかに記載の共振器。

【請求項 9】 前記低屈折率物質は空気であることを特徴とする請求項 1 から 8 のいずれかに記載の共振器。

【請求項 10】 請求項 1 から 9 のいずれかに記載された共振器を 1 以上含む波長分合波器であって、

前記 2 次元フォトニック結晶中の線状欠陥からなる導波路をも 1 以上含み、

前記共振器は前記導波路に対して電磁氣的に相互作用を生じる距離内に近接して配置されていることを特徴とする波長分合波器。

【請求項 11】 互いに共振周波数の異なる複数の前記共振器を含むことを特徴とする請求項 10 に記載の波長分合波器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明はフォトニック結晶を利用した共振器および波長分合波器に関し、特に 2 次元フォトニック結晶を利用した共振器および波長分合波器の特性改善に関するものである。なお、本願明細書における「光」の用語の意味は、可視光に比べて波長の長いまたは短い電磁波をも含むものとする。

【0002】

【従来の技術】

近年の波長分割多重通信システムの進展に伴い、大容量化を目指した超小型の分合波器や波長フィルターの重要性が高まっている。そこで、フォトニック結晶を利用して非常に小型の光分合波器を開発することが試みられている。すなわち、フォトニック結晶においては、母材中で結晶格子のように周期的な屈折率分布が人工的に設けられ、その人工的周期構造を利用して新規な光学特性を実現することが可能である。

【0003】

フォトニック結晶が有する重要な特性として、フォトニックバンドギャップの存在がある。3 次元的屈折率周期を有するフォトニック結晶（3 次元フォトニック結晶）では、全ての方向に対して光の伝搬が禁じられる完全バンドギャップを形成することができる。これにより、局所的な光の閉じ込め、自然放出光の制御

、線状欠陥の導入による導波路の形成などが可能となり、微小光回路の実現が期待され得る。

【0004】

他方、2次元屈折率周期構造を有するフォトニック結晶（2次元フォトニック結晶）は比較的容易に作製され得ることから、その利用が盛んに検討されている。2次元フォトニック結晶の屈折率周期構造は、例えば高屈折率の板材（通常「スラブ」と称される）を貫通する円柱孔を正方格子状または六方格子状に配列することによって形成され得る。または、低屈折率板材中に高屈折率材料の円柱を2次元格子状に配列することにより形成され得る。このような屈折率周期構造からフォトニックバンドギャップが生じ、板材中の面内方向（板材の両主面に平行な方向）において光の伝搬が制御され得る。例えば、屈折率周期構造中に線状の欠陥を導入することによって、導波路を形成することができる（例えば、非特許文献1のPhysical Review B, Vol.62, 2000, pp.4488-4492参照）。

【0005】

図10は、特許文献1の特開2001-272555号公報に開示された波長分合波器を模式的な斜視図で示している。なお、本願の図面において、同一の参照符号は同一または相当部分を示している。図10の波長分合波器は、板材1内に設定された2次元六方格子点に形成された同一径の円筒状貫通穴2（通常、穴内は空気）を有する2次元フォトニック結晶を利用している。このような2次元フォトニック結晶において、光は板材1の面内方向においてはバンドギャップにより伝播が禁じられ、面直方向（板材の両主面に直交する方向）には低屈折率材料（例えば空気）との界面による全反射により閉じこめられる。

【0006】

図10におけるフォトニック結晶は、直線状の欠陥からなる導波路3を含んでいる。この直線状欠陥3は互いに隣接して直線状に配列された複数の格子点を含み、それらの格子点には貫通穴2が形成されていない。光は2次元フォトニック結晶の欠陥内を伝播することができ、直線状欠陥3は直線状導波路として作用し得る。直線状導波路においては、光を低損失で伝搬させ得る波長域が比較的広く、したがって複数チャネルの信号を含む複数波長帯域の光を伝播させることがで

きる。

【0007】

なお、導波路としての直線状欠陥の幅は、その導波路として求められる特性に応じて、種々に変更することが可能である。最も典型的な導波路は、上述のように、1列の格子点列に貫通穴を形成しないことによって得られる。しかし、導波路は、隣接する複数列の格子点列に貫通穴を形成しないことによって形成され得る。さらに、導波路の幅は格子定数の整数倍に限られず、任意の幅を有することもできる。例えば、直線状導波路の両側の格子を任意の距離だけ相対的に変位させることによって、任意の幅の導波路を形成することも可能である。

【0008】

図10におけるフォトニック結晶は、点状欠陥からなる共振器4をも含んでいる。この点状欠陥4は一つの格子点を含み、その格子点には他の格子点に比べて大きな径の貫通穴が形成されている。このように相対的に大きな径の貫通穴を含む欠陥は、一般にアクセプタ型の点状欠陥と称されている。他方、格子点に貫通穴が形成されていない欠陥は、一般にドナー型の点状欠陥と称されている。共振器4は、導波路3に対して電磁氣的に相互作用を及ぼし合い得る範囲内に近接して配置される。

【0009】

図10に示されているような2次元フォトニック結晶において、複数の波長帯域(λ_1 , λ_2 , ..., λ_i , ...)を含む光5を導波路3内に導入すれば、共振器4の共振周波数に対応する特定波長 λ_i を有する光がその共振器に捕獲され、点状欠陥内部で共振している間に、板材1の有限厚さに起因するQ値の小さな面直方向へ波長 λ_i の光6が放射される。すなわち、図10のフォトニック結晶は波長分波器として作用し得る。逆に、板材1の面直方向に光を点状欠陥4内へ入射することによって、その共振器4内で共振する波長 λ_i の光を導波路3内に導入することができる。すなわち、図10のフォトニック結晶は波長合波器としても作用し得る。なお、導波路3または共振器4と外部との間の光の授受は、その導波路の端面近傍または共振器近傍に光ファイバまたは光電変換素子を近接配置することによって行い得る。もちろん、その場合に、導波路端面または共振器と光フ

アイバ端面または光電変換素子との間に集光レンズ（コリメータ）が挿入されてもよい。

【0010】

図10に示されているような波長分合波器において、線状欠陥からなる導波路3と点状欠陥からなる共振器4との間隔を適宜に設定することにより、それらの導波路と共振器との間で授受する特定波長の光強度の割合を制御することも可能である。また、図10において点状欠陥4に関して板材1の面直方向に非対称性が導入されていないので、光はその点状欠陥4の上下方向に出力されるが、点状欠陥4において面直方向に非対称性を導入することによって、上下のいずれかのみに光を出力させることも可能である。そのような非対称性の導入方法としては、例えば円形断面の点状欠陥4の径を板材の厚さ方向に連続的または不連続的に変化させる方法を用いることができる。さらに、図10の波長分合波器は単一の共振器のみを含んでいるが、互いに共振波長の異なる複数の共振器を導波路に沿って配置することによって、複数チャネルの光信号を分合波し得ることが容易に理解されよう。

【0011】

【特許文献1】

特開2001-272555号公報

【0012】

【非特許文献1】

Physical Review B, Vol.62, 2000, pp.4488-4492

【0013】

【発明が解決しようとする課題】

特許文献1に開示されているようなアクセプタ型の点状欠陥を利用した共振器のQ値は500程度であり、そのような共振器から出力されるピーク波長の光の半値全幅（FWHM）は3nm程度である。

【0014】

しかし、波長分割多重通信においては、約100GHzの周波数で約0.8nmのピーク波長間隔の多チャネル信号を利用することが検討されている。すなわ

ち、特許文献 1 に開示されているような共振器では Q 値の大きさが不十分で、3 nm の半値全幅では約 0.8 nm のピーク波長間隔の多チャネル信号を互いに分離するには全く不十分である。すなわち、2 次元フォトニック結晶を利用した共振器の Q 値を高めて、そこから出力されるピーク波長の光の半値全幅を小さくすることが望まれている。

【0015】

このような従来技術における状況に鑑み、本発明の主要な目的は、2 次元フォトニック結晶中において、Q 値が高められた共振器を提供し、さらにそのような共振器と導波路とを組合せて高い波長分解能を有する波長分合波器を提供することである。

【0016】

【課題を解決するための手段】

本発明による 2 次元フォトニック結晶中の点状欠陥からなる共振器では、2 次元フォトニック結晶の通常部分は板材内に設定された 2 次元格子点において板材に比べて小さな屈折率を有しかつ所定の同一寸法形状の低屈折率物質を配設することによって構成されており、点状欠陥は 3 以上の互いに隣接する複数の格子点を含んでいてそれらの格子点には低屈折率物質が配設されておらず、点状欠陥に最近接の格子点の少なくとも一つに対応して配設されるべき低屈折率物質の寸法が所定寸法から変えられていることを特徴としている。

【0017】

なお、点状欠陥に第 2 次近接の格子点の少なくとも一つに対応して配設されるべき低屈折率物質の寸法も、所定寸法から変えられていてもよい。また、点状欠陥は、6 以下の格子点を含んでいることが好ましい。共振器において共振する光の波長は、点状欠陥の寸法形状に依存して調整され得るし、またフォトニック結晶の格子定数を変えることでも調整され得る。点状欠陥は、線分状に並んだ複数の格子点を含んでいることが好ましい。

【0018】

低屈折率物質は、板材を貫通する円柱内に充填され得る。2 次元格子点は六方格子配列されていることが好ましい。板材は、2.0 以上の屈折率を有すること

が好ましい。

【0019】

以上のような共振器を1以上含む本発明による波長分合波器は、2次元フォトニック結晶中の線状欠陥からなる導波路をも1以上含み、共振器は導波路に対して電磁氣的に相互作用を生じる距離内に近接して配置されていることを特徴としている。このような波長分合波器は、互いに共振周波数の異なる複数の共振器を含むことによって、マルチチャネル光信号用の波長分合波器として作用し得る。

【0020】

【発明の実施の形態】

まず、本発明者らは、図10におけるような2次元フォトニック結晶中のアクセプタ型の点状欠陥からなる共振器ではなくて、ドナー型の点状欠陥からなる共振器の特性について調べた。前述のように、ドナー型の点状欠陥は1以上の格子点を含み、その格子点には貫通穴が形成されていない。

【0021】

従来では、単一の格子点のみを含む点状欠陥が、その構造の単純性から電磁氣的解析が容易であり、また最小限のサイズであるという観点から主に検討されてきた。すなわち、ドナー型においても、複数の格子点を含む点状欠陥については、従来ではあまり調べられていなかった。そこで、本発明者は、複数の格子点を含むドナー型点状欠陥の特性について調べた。

【0022】

図11は、複数の格子点を含むドナー型点状欠陥を含む2次元フォトニック結晶の一部を示す模式的な平面図である。この2次元フォトニック結晶において、板材1中に設定された六方格子点に貫通穴2が設けられている。図11(a)の点状欠陥4は線分状に互いに隣接する3つの格子点を含み、それらの格子点には貫通穴2が設けられていない。他方、図11(b)の点状欠陥4は三角形状に互いに隣接する3つの格子点を含み、それらの格子点には貫通穴2が設けられていない。すなわち、点状欠陥4は、1次元的に互いに隣接する複数の格子点を含んで形成され得るし、2次元的に互いに隣接する複数の格子点を含んで形成されてもよい。

【0023】

本発明者らが複数の格子点を含むドナー型点状欠陥について周知の時間領域差分 (FDTD) 法 (特許文献 1 参照) を用いて電磁氣的解析を行ったところ、1 つまたは 2 つの格子点を含むドナー型点状欠陥からなる共振器に比べて、3 つ以上の格子点を含むドナー型点状欠陥からなる共振器において高い Q 値が得られることが分かった。ただし、点状欠陥に含まれる格子点の数が大きくなりすぎれば共振モードの数が多くなって好ましくなく、その格子点の数は 6 以下であることが好ましい。

【0024】

例えば、図 11 (a) に示されているような共振器において、その単体では $Q = 5200$ であり、導波路と組合せても約 2600 の Q 値が得られ、その共振器からの出力光の半値全幅は約 0.6 nm になり得る。しかし、前述のように約 100 GHz の周波数間隔すなわち約 0.8 nm の波長ピーク間隔の多チャネル信号を利用する波長分割多重通信におけるクロストークを考慮すれば、Q 値のさらなる向上が望まれる。

【0025】

図 1 は、本発明による共振器の一例における主要な特徴を説明するための模式的な平面図である。この図 1 の 2 次元フォトニック結晶において、板材 1 内に 2 次元六方格子点を設定されており、それらの格子点に所定の同一径の円筒状貫通穴 2 が形成されている。この六方格子における最近接の格子点間隔 (格子定数) は、 a で表わされている。図 1 に示されたドナー型点状欠陥 4 は互いに線分状に隣接して配列された 3 つの格子点を含んでおり、それらの格子点には貫通穴 2 が形成されていない。

【0026】

本発明によるドナー型点状欠陥 4 における主要な特徴は、その点状欠陥に最近接の貫通穴 (図 1 において破線で表わされている穴) 2 の少なくとも一つが他の貫通穴に比べて径が縮小または拡大されていることである。

【0027】

図 1 に示されているようなドナー型点状欠陥 4 からなる共振器について、Q 値

と光放射パターンがFDTD法によってシミュレートされた。そのシミュレーション条件において、板材1としてSi、波長 λ として一般に光通信で用いられている $1.55\mu\text{m}$ 近傍、格子定数 a として $0.42\mu\text{m}$ 、板材1の厚さとして $0.6a$ 、そして貫通穴2の所定断面半径 r として $0.29a$ が設定された。

【0028】

これらの条件の下におけるシミュレーションにおいて、点状欠陥4に最近接の貫通穴（図1において破線で表わされている穴）2のいずれもが他の貫通穴と同じ所定半径 $r = 0.29a$ を有する場合にQ値として5200が得られ、図2はその場合において板材1の面直方向から見た共振器4からの光の放射パターンを示している。同様なシミュレーションにおいて、点状欠陥4の両端に最近接の格子点にある貫通穴2a, 2b（図1参照）の半径 r が他の貫通穴の所定半径 $r = 0.29a$ から $0.19a$ さらに $0.14a$ に変えられた場合にQ値として19600さらに66700が得られ、図3と図4はそれらの場合における共振器4からの光の放射パターンを示している。

【0029】

これらのシミュレーションから分かるように、線分状に互いに隣接する3つの格子点を含むドナー型点状欠陥において、その線分の両端に隣接する貫通穴2a, 2bの径を他の貫通穴2の所定半径 $0.29a$ から $0.14a$ に変えることによって、Q値が5200から66700へ著しく高められ、また図2と図4の比較から分かるように光の放射角も小さくなっている。

【0030】

また、点状欠陥4の両端に隣接する貫通穴2a, 2bの半径 r をさらに小さな $0.09a$ に変えた場合、さらに高いQ値=103900が得られ、図5はその場合における共振器からの光の放射パターンを示している。図5においては図4に比べて光の放射角が大きくなっており、図5における中央の主放射光の上下においてサイドローブ（副次光）が顕著になっている。すなわち、点状欠陥4に最近接の貫通穴2の径を他の貫通穴の所定径から変化させる割合を増大させるに伴ってQ値も増大する傾向にあるが、共振器4からの光の放射角の観点からは必ずしもその変化割合が大きい方がよいとは限らない。

【0031】

図6のグラフは、図1に示されているような点状欠陥4における最近接貫通穴2a, 2bの半径 r と Q 値との関係を示している。このグラフにおいて、横軸は点状欠陥4における最近接貫通穴2a, 2bの半径 r を格子定数 a で規格化して示しており、縦軸は Q 値を表わしている。図6から、最近接貫通穴2a, 2bの半径の変化割合の増大による Q 値の増大にも限界のあることが分かる。すなわち、最近接貫通穴2a, 2bの半径 r が $0.09a$ まで小さくなるに伴って Q 値も指数関数的に増大して極大値の103900に達するが、さらに半径 r を小さくすれば Q 値は逆に急減する。

【0032】

図7のグラフにおいては、図5において明瞭に見られるようなサイドローブと主放射光とのパワー比が、最近接貫通穴2a, 2bの半径 r との関係で示されている。このグラフにおいて、横軸は最近接貫通穴2a, 2bの半径 r を格子定数 a で規格化して示しており、縦軸は主放射光に対するサイドローブの放射パワー比を表わしている。図7において、サイドローブを含む放射光の放射角は $r = 0.14a$ の場合に最も小さく、 $r = 0.04a$ の場合に最も大きくなることが分かる。

【0033】

また、図1において点状欠陥4に最近接であって破線で表わされている全ての貫通穴2の半径 r を $0.29a$ から $0.19a$ に変えた場合にも、高い Q 値=53700が得られた。しかし、この場合には、共振器4から放射される主放射光に対するサイドローブの放射パワー比が非常に大きくなって、放射パターンの観点からはあまり好ましくなかった。

【0034】

図8の模式的な平面図は、図1に類似しているが、点状欠陥4に最近接の格子点に対応する少なくとも一つの貫通穴（破線で表示）2のみならず、第2近接の格子点に対応する少なくとも一つの貫通穴（破線で表示）2も他の貫通穴2の所定半径 r から変えられた半径を有する場合を模式的に示している。共振器の Q 値の向上のためには、上述のように点状欠陥4に最近接の格子点に対応する貫通穴

2 の半径 r を他の貫通穴 2 の所定半径から変化させるのが最も効果的であるが、さらに第 2 近接の格子点に対応する貫通穴 2 の半径 r を他の貫通穴 2 の所定半径から変化させることも Q 値を改善する効果を生じる。

【0035】

なお、上述のような本発明による共振器 4 は図 10 に示されているような波長分合波器に適用し得ることは言うまでもない。また、本発明による共振器 4 を波長分合波器に適用する場合に、互いに共振周波数の異なる複数の共振器 4 を一つの導波路 3 に沿って近接配置することによって、互いに波長の異なる複数チャネルの光信号を処理し得るマルチチャネル波長分合波器を形成し得ることも言うまでもない。さらに、共振器 4 に近接対面させて光ファイバの端面を配置することによって、共振器 4 から板材 1 の面直方向に放射される光をその光ファイバ内に導入することができる。さらにまた、共振器 4 に近接対面して光電変換素子を配置することによって、共振器からの光の強度変調を受信することができる。もちろん、共振器 4 と光ファイバ端面または光電変換素子との間に集光レンズ（コリメータ）が挿入されてもよい。

【0036】

図 9 は、本発明の実施形態の他の例における波長分合波器を模式的な斜視図で示している。図 9 の波長分合波器は図 10 のものに類似しているが、図 9 においては第 1 の直線状導波路 3 a に近接して共振器 4 が配置され、さらにその共振器 4 に近接して第 2 の直線状導波路 3 b が配置されている。この場合、前述のように第 1 の導波路 3 a に導入された光信号から特定波長の光信号が共振器 4 内に抽出され得るが、第 2 の導波路 3 b が共振器 4 に近接して配置されている場合には、その抽出された光信号は共振器 4 から板材 1 の面直方向ではなくて第 2 の導波路 3 b 内へ導入されることになる。すなわち、2 次元フォトニック結晶を利用する波長分合波器において、一つの導波路を伝播している光信号の内の特定波長の光信号を選択して他の導波路内に導くことができる。

【0037】

フォトニック結晶用の板材 1 としては、その厚さ方向に光を閉じこめる必要があるため屈折率の大きい材料が望ましい。上述の実施形態では Si の板材が用い

られているが、他にも Ge、Sn、C、および SiC などの IV 族半導体；GaAs、InP、GaN、GaP、AlP、AlAs、GaSb、InAs、AlSb、InSb、InGaAsP、および AlGaAs などの III-V 族化合物半導体；ZnS、CdS、ZnSe、HgS、MnSe、CdSe、ZnTe、MnTe、CdTe、および HgTe などの II-VI 族化合物半導体；SiO₂、Al₂O₃、および TiO₂ などの酸化物；シリコン窒化物；ソーダ石灰ガラスなどの各種ガラス；さらには PMMA（ポリメチルメタクリレート）などの有機物を用いることができる。また、それらの板材からなるフォトニック結晶中において、光信号の増幅が望まれる場合には、Er、Tm、Alq₃（C₂₇H₁₈AlN₃O₃）などがドーピングされてもよい。

【0038】

板材 1 の屈折率は、具体的には空気より大きく、2.0 以上であることが好ましく、3.0 以上であることがより好ましい。なお、上述の実施形態では貫通穴 2 内に空気が存在しているが、板材 1 に比べて低屈折率の物質がそれらの貫通穴 2 内に充填されてもよいことは言うまでもない。そのような低屈折率の物質として、例えばポリチオフェン誘導体などを用いることができる。また、板材 1 中に設定される 2 次元格子は六方格子に限られず、他の規則的な任意の 2 次元格子を設定することも可能である。さらに、貫通穴 2 の断面は円形に限られず他の形状でもよく、板厚方向において断面形が変化させられてもよい。

【0039】

【発明の効果】

以上のように、本発明によれば、2 次元フォトニック結晶中において、Q 値が高められた共振器を提供し、さらにそのような共振器と導波路とを組合せて高い波長分解能を有する波長分合波器を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明による 2 次元フォトニック結晶中の共振器の一例における主要な特徴を説明するための模式的な平面図である。

【図 2】 2 次元フォトニック結晶中の共振器の一例に関するシミュレーションにおいて板材の面直方向から見た共振器からの光の放射パターンを示す図で

ある。

【図 3】 本発明による共振器の一例に関するシミュレーションにおいて板材の面直方向から見た共振器からの光の放射パターンを示す図である。

【図 4】 本発明による共振器の他の例に関するシミュレーションにおいて板材の面直方向から見た共振器からの光の放射パターンを示す図である。

【図 5】 本発明による共振器のさらに他の例に関するシミュレーションにおいて板材の面直方向から見た共振器からの光の放射パターンを示す図である。

【図 6】 図 1 に示されているような点状欠陥における最近接の貫通穴の半径 r と共振器の Q 値との関係を示す図である。

【図 7】 共振器からの主放射光に対するサイドローブのパワー比を最近接の貫通穴の半径 r との関係で示すグラフである。

【図 8】 点状欠陥に最近接の格子点に対応する少なくとも一つの貫通穴のみならず、第 2 近接の格子点に対応する少なくとも一つの貫通穴の径も他の貫通穴の所定径から変化させられる状況を示す模式的な平面図である。

【図 9】 本発明の実施形態の他の例における波長分合波器を示す模式的な斜視図である。

【図 10】 先行技術による 2 次元フォトニック結晶を利用した波長分合波器を示す模式的な斜視図である。

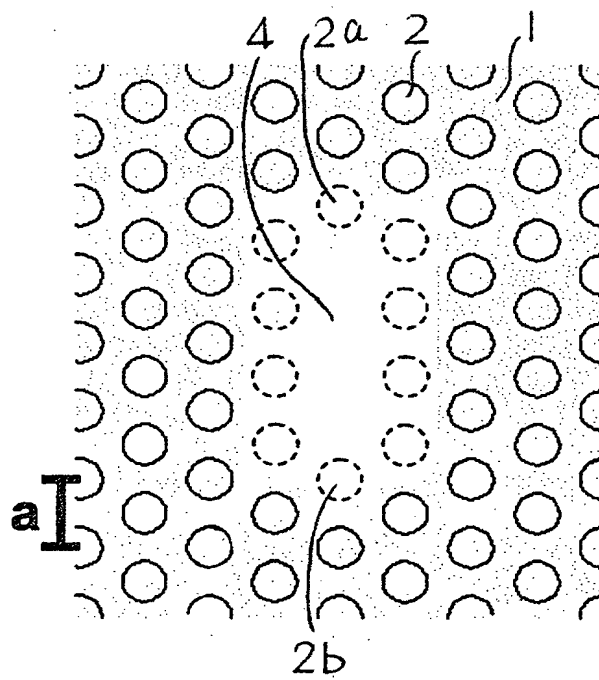
【図 11】 2 次元フォトニック結晶中において複数の格子点を含むドナー型点状欠陥の例を示す模式的な平面図である。

【符号の説明】

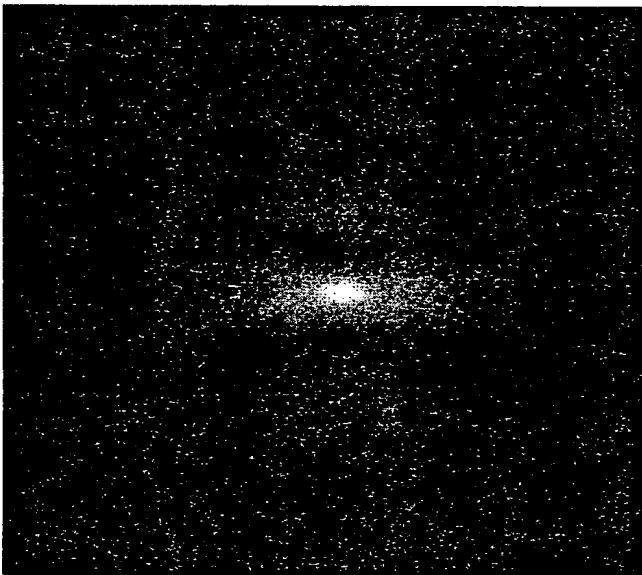
1 板材、2, 2 a, 2 b 貫通穴、3, 3 a, 3 b 導波路、4 点状欠陥からなる共振器、5 導波路へ導入される光、6 共振器から放射される光。

【書類名】 図面

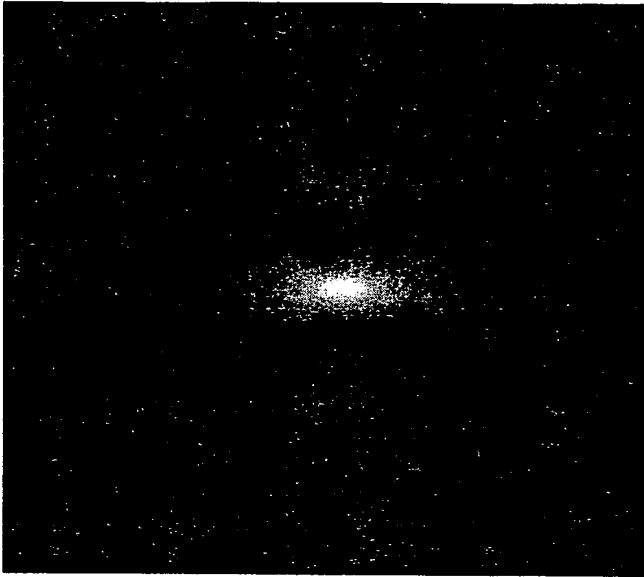
【図 1】



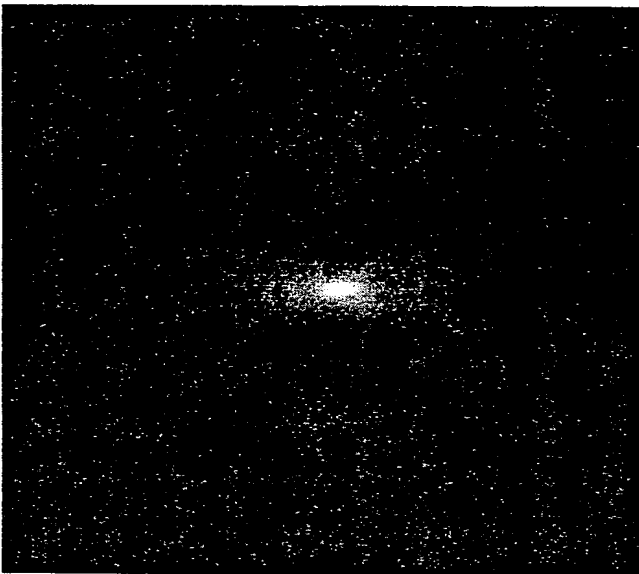
【図 2】



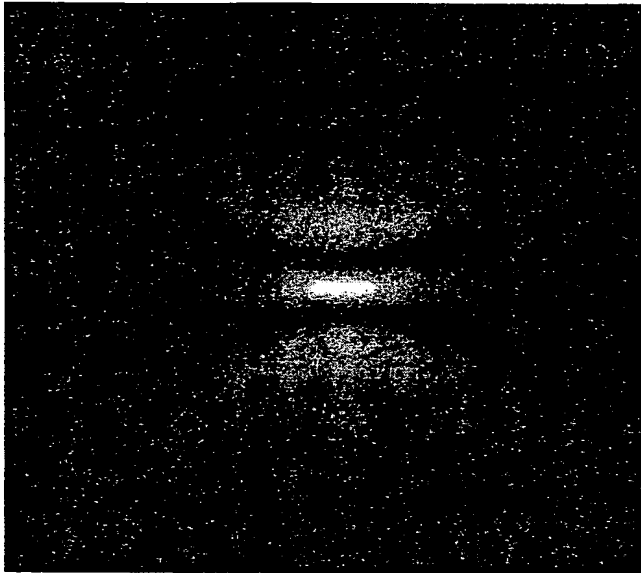
【図 3】



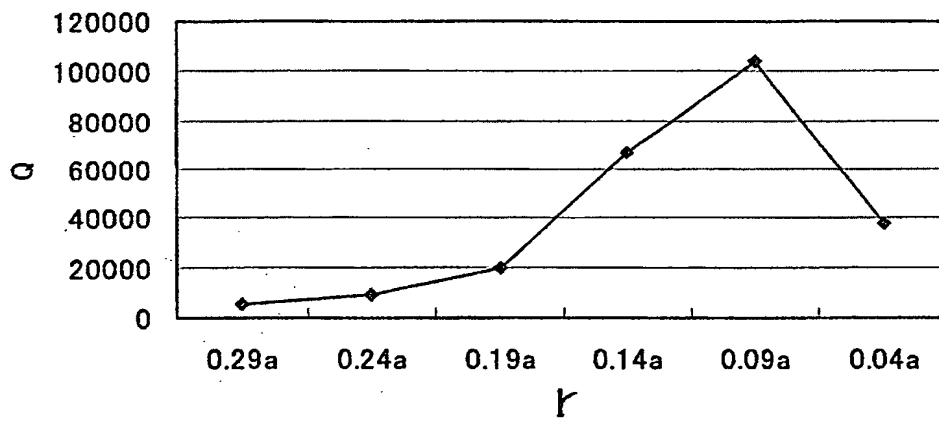
【図 4】



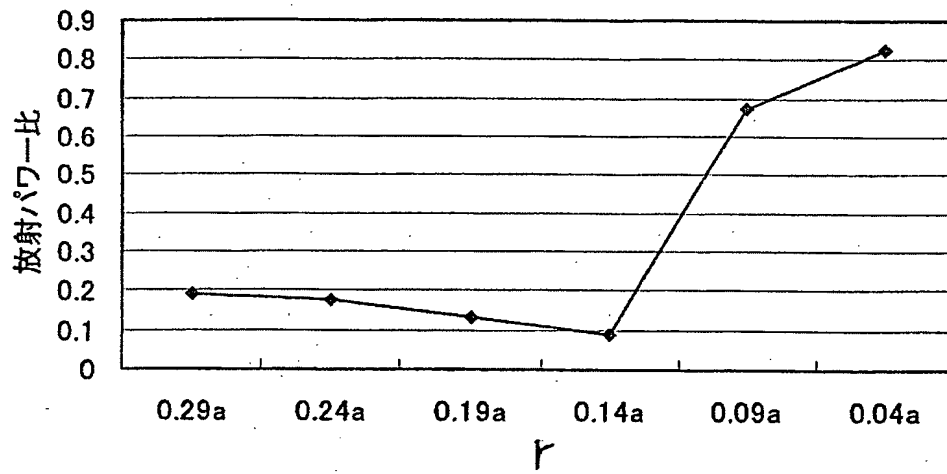
【図 5】



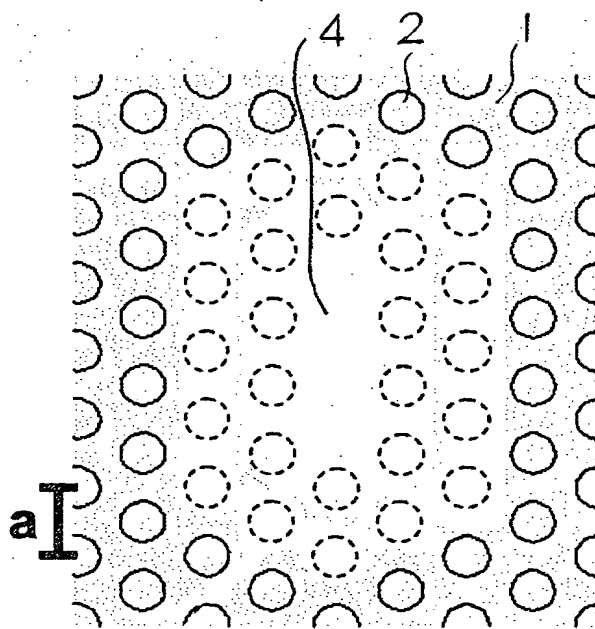
【図 6】



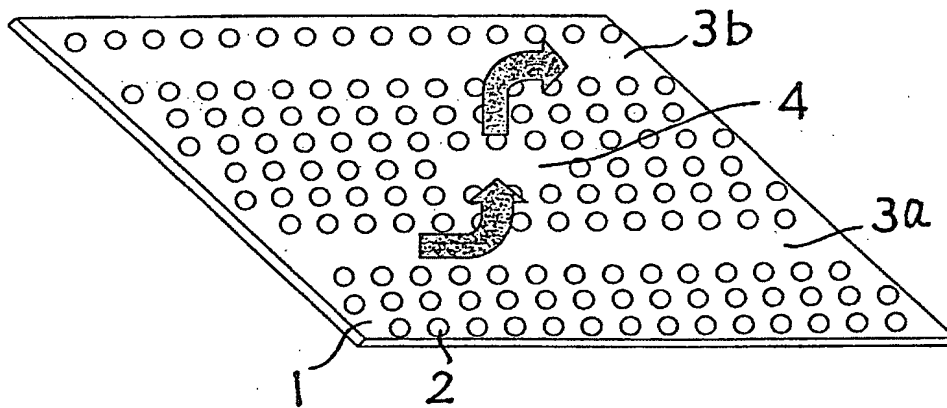
【図 7】



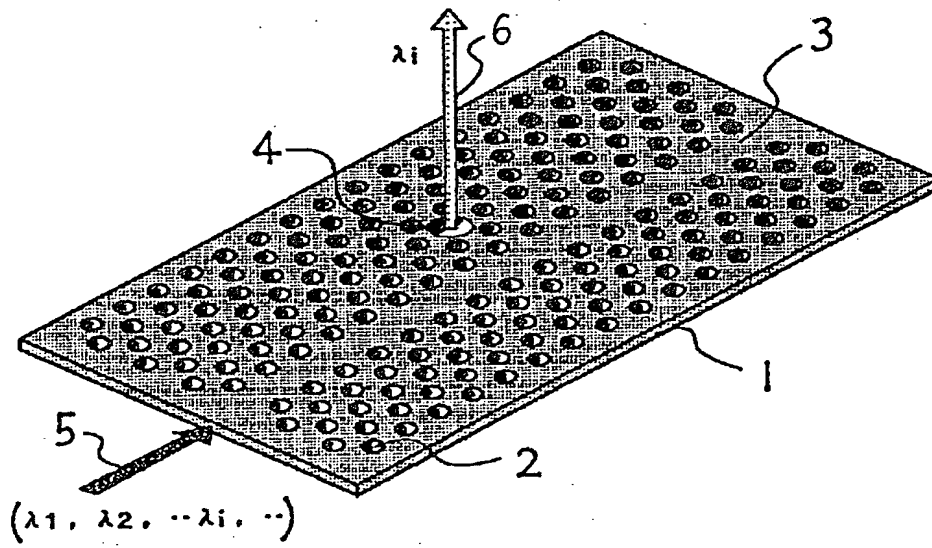
【図 8】



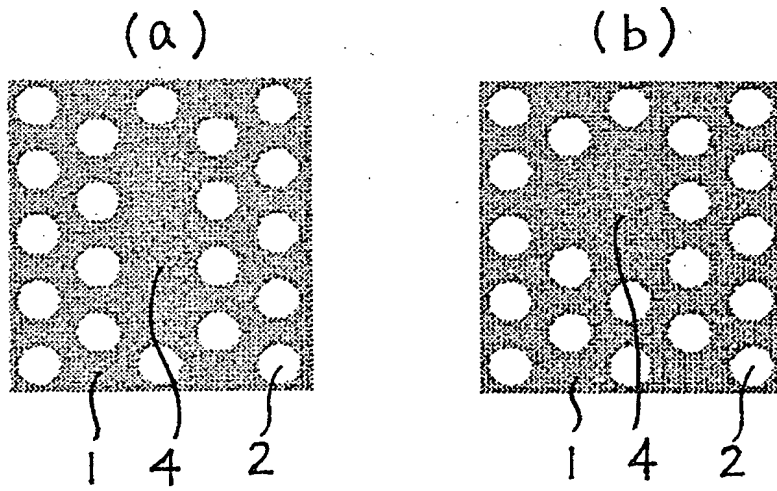
【図 9】



【図 10】



【図 11】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 2次元フォトニック結晶中において、Q値が高められた共振器を提供し、さらにそのような共振器と導波路とを組合せて高い波長分解能を有する波長分合波器を提供する。

【解決手段】 2次元フォトニック結晶中の点状欠陥からなる共振器では、2次元フォトニック結晶の通常部分は板材（1）内に設定された2次元格子点において板材（1）に比べて小さな屈折率を有しかつ所定の同一寸法形状の低屈折率物質（2）を配設することによって構成されており、点状欠陥（4）は3以上の互いに隣接する複数の格子点を含んでいてそれらの格子点には低屈折率物質（2）が配設されておらず、点状欠陥（4）に最近接の格子点の少なくとも一つに対応して配設されるべき低屈折率物質（2）の寸法が所定寸法から変えられていることを特徴としている。

【選択図】 図1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2003-071947
受付番号	50300431866
書類名	特許願
担当官	野本 治男 2427
作成日	平成15年 5月22日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】	391012442
【住所又は居所】	京都府京都市左京区吉田本町36の1番地
【氏名又は名称】	京都大学長

【特許出願人】

【識別番号】	000002130
【住所又は居所】	大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
【氏名又は名称】	住友電気工業株式会社

【代理人】

申請人	
【識別番号】	100064746
【住所又は居所】	大阪府大阪市北区南森町2丁目1番29号 三井 住友銀行南森町ビル 深見特許事務所
【氏名又は名称】	深見 久郎

【選任した代理人】

【識別番号】	100085132
【住所又は居所】	大阪府大阪市北区南森町2丁目1番29号 三井 住友銀行南森町ビル 深見特許事務所
【氏名又は名称】	森田 俊雄

【選任した代理人】

【識別番号】	100083703
【住所又は居所】	大阪府大阪市北区南森町2丁目1番29号 三井 住友銀行南森町ビル 深見特許事務所
【氏名又は名称】	仲村 義平

【選任した代理人】

【識別番号】	100096781
【住所又は居所】	大阪府大阪市北区南森町2丁目1番29号 三井 住友銀行南森町ビル 深見特許事務所
【氏名又は名称】	堀井 豊

次頁有

認定・付加情報 (続き)

【選任した代理人】

【識別番号】 100098316

【住所又は居所】 大阪府大阪市北区南森町2丁目1番29号 三井
住友銀行南森町ビル 深見特許事務所

【氏名又は名称】 野田 久登

【選任した代理人】

【識別番号】 100109162

【住所又は居所】 大阪府大阪市北区南森町2丁目1番29号 三井
住友銀行南森町ビル 深見特許事務所

【氏名又は名称】 酒井 將行

次頁無

特願 2 0 0 3 - 0 7 1 9 4 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[3 9 1 0 1 2 4 4 2]

1. 変更年月日

1 9 9 1 年 1 月 2 2 日

[変更理由]

新規登録

住 所

京都府京都市左京区吉田本町 3 6 の 1 番地

氏 名

京都大学長

特願 2 0 0 3 - 0 7 1 9 4 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 2 1 3 0]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号

氏 名

住友電気工業株式会社